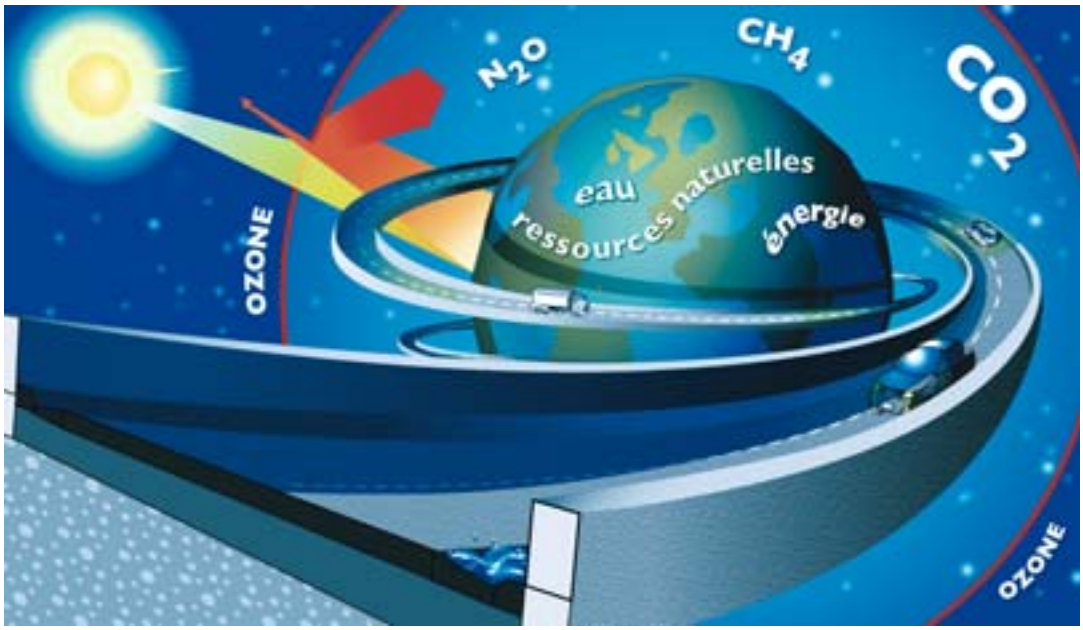
COLLECTION
TECHNIQUE
CIMBÉTON

T88

DOCUMENT
SYNTHÉTIQUE

BÉTON ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Analyse du cycle de vie de structures routières



CIMbéton
CENTRE D'INFORMATION SUR
LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

→ ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE STRUCTURES ROUTIÈRES

L'application des principes du développement durable tend à se généraliser dans les différents secteurs économiques et, en particulier, dans la construction routière. En effet :
– des acteurs industriels importants mettent en œuvre des systèmes de management environnemental, conformément à la série de normes ISO 14000 ;
– les décideurs expriment une demande croissante en matière de qualité environnementale des produits ;
– un processus d'information sur la qualité environnementale des produits de construction est proposé par l'AFNOR dans la norme NF P01-010 « Qualité environnementale des produits de construction – Déclaration environnementale et sanitaire des produits de construction ».

Dans ce contexte, l'industrie cimentière, consciente de l'enjeu stratégique et universel du développement durable, a été parmi les premiers à mettre en œuvre, au niveau du process de fabrication, un engagement volontaire de réduction des impacts environnementaux. Aujourd'hui, elle envisage d'aller bien au-delà. Avec ses partenaires, elle désire évaluer les impacts des ouvrages routiers sur l'environnement en effectuant un bilan environnemental par analyse de cycle de vie d'un kilomètre de route. Cette étude a été motivée par un certain nombre d'éléments.

→ Les données environnementales constitueront dans un proche avenir un outil d'aide au choix des structures routières, à l'instar des critères techniques et économiques. Les résultats de l'analyse de cycle de vie d'un kilomètre de route constitueront une base de données au service des décideurs.

→ La route impacte l'environnement dans sa phase de construction mais aussi dans sa phase d'utilisation. Connaître les contributions relatives des phases de construction, d'entretien, de fin de vie et d'utilisation permet de mieux cibler les actions destinées à diminuer les impacts environnementaux.

→ Les études américaines [18], canadiennes [19], indiennes [20] et suédoises [21], établies à partir d'essais en vraie grandeur, concluent toutes que la consommation en carburant des véhicules est moindre sur une chaussée béton que sur une chaussée bitumineuse, l'écart variant entre 8 et 15 % selon les cas. Sachant que la consommation d'énergie engendrée par la circulation est considérablement supérieure à celles des phases de construction et d'entretien, une réduction de la consommation des véhicules peut se traduire par une réduction importante des impacts sur l'environnement, en particulier une réduction de la consommation d'énergie et une diminution de l'émission des gaz à effet de serre.

Par souci d'objectivité, l'analyse du cycle de vie d'un kilomètre de route a été confiée au Centre d'Énergétique de l'École des Mines de Paris. Ce choix offre un bon nombre d'avantages :
– c'est un centre spécialisé disposant d'une méthodologie de calcul EQUER éprouvée ;
– il utilise une base de données suisse (OEKOINVENTARE, École Polytechnique Fédérale de Zurich) et Allemande (Université de Karlsruhe, OEKOINSTITUT de WEIMAR) qui assurent une cohérence globale quant à la manière de définir et de quantifier les données des inventaires ; En outre cette base de données va au-delà de la norme NF P01-010 quant à la manière d'agréger les flux élémentaires ;
– la méthodologie EQUER permet d'évaluer d'une façon assez complète les impacts d'un ouvrage sous forme de douze indicateurs environnementaux.

Après un rappel des transformations opérées par l'industrie cimentière et ses partenaires sur les outils industriels et la mise au point de produits respectueux des principes du développement durable, l'étude décrit et compare douze impacts environnementaux de six structures routières équivalentes (quatre structures en béton, une structure composite BBTM/BAC/GB_3 et une structure totalement bitumineuse BB/GB_3/GB_3) et de deux types de dispositifs de sécurité (séparateur en béton et glissière en métal). Ces indicateurs sont évalués pour les différentes phases du cycle de vie d'une route (construction, entretien, fin de vie et utilisation).

Les structures de chaussées réalisées par traitement des sols (ou matériaux) en place aux ciments ou aux liants hydrauliques routiers, connues et reconnues comme étant (et de loin) les meilleures structures en matière d'impact sur l'environnement, ne sont pas concernées par cette étude.

Le présent document est une synthèse de l'étude complète publiée par Cimbéton sous la référence T 89.

→ ACV d'un kilomètre de structures de chaussées

Présentation comparative des résultats

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un kilomètre de longueur, représentative d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

Les résultats de ce bilan sont présentés sous forme d'un diagramme constitué de douze axes correspondant aux douze indicateurs environnementaux sélectionnés pour cette étude. Chaque axe porte une unité de mesure spécifique à l'indicateur étudié, permettant ainsi de comparer visuellement les écarts relatifs entre les différentes techniques. Ainsi, plus le point visualisant l'indicateur étudié est proche de 0, plus l'impact environnemental de la structure est faible.

Les principales conclusions sont exposées dans les pages qui suivent.

CONCLUSION N°1

→ LES ARMATURES EN ACIER HANDICAPENT L'ACV DES BÉTONS ROUTIERS

Comparaison des structures routières en béton sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure 1 « dalle goujonnée » et la structure 4 « dalle épaisse » sont visiblement plus favorables que les structures 2 et 3 en béton armé continu pour les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Eutrophisation et Toxicité humaine. Elles sont légèrement moins favorables pour les indicateurs Déchets, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 1).

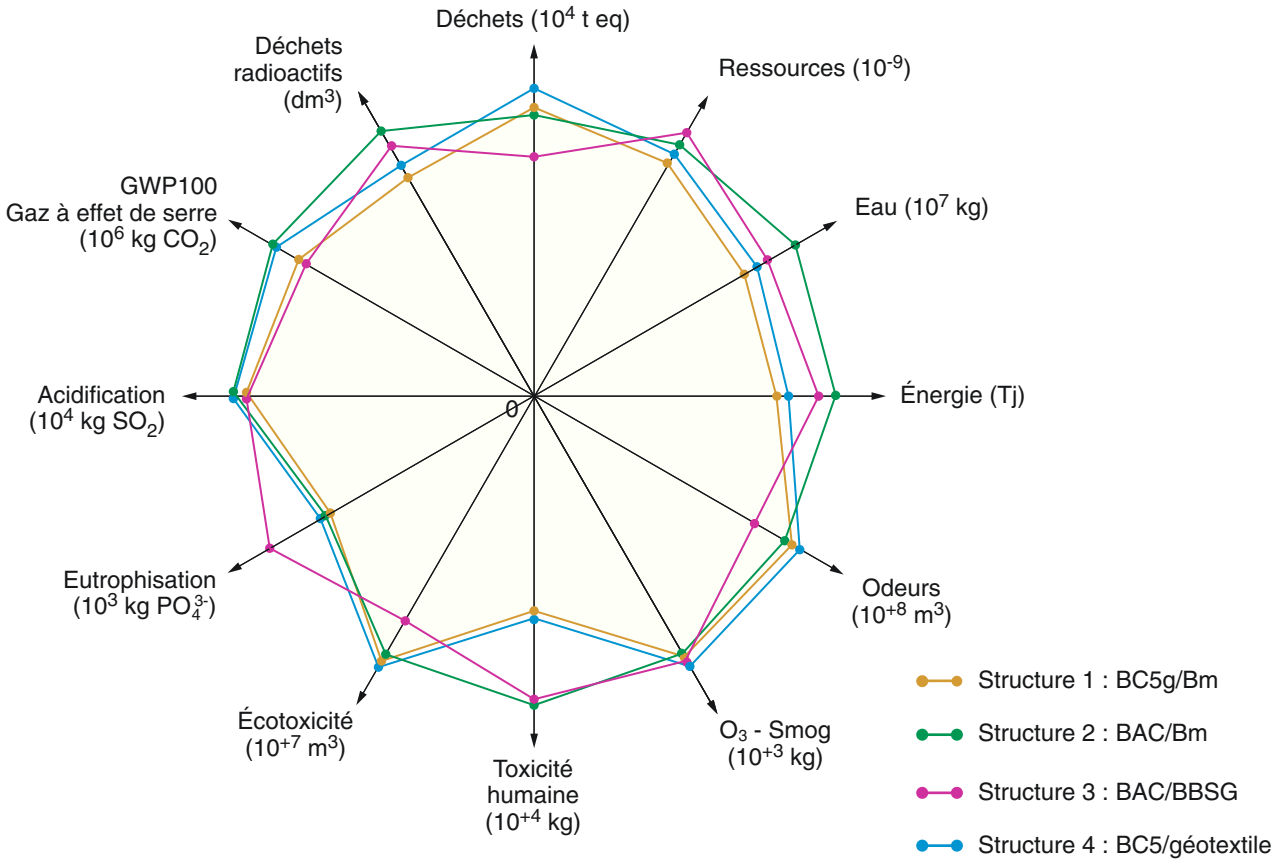


Figure 1 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

CONCLUSION N°2

→ DES STRUCTURES OPTIMISÉES PAR L'ASSOCIATION DES MATÉRIAUX : BÉTON-BITUME-ACIER

Comparaison des structures routières en béton et de la structure composite sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure 5 « structure composite » est plus favorable que les structures en béton 1 à 4 pour les indicateurs Eau, Déchets, Gaz à effet de serre, Écotoxicité et Odeurs.

Elle est moins favorable pour les indicateurs Ressources, Eutrophisation et Smog (voir la figure 2).

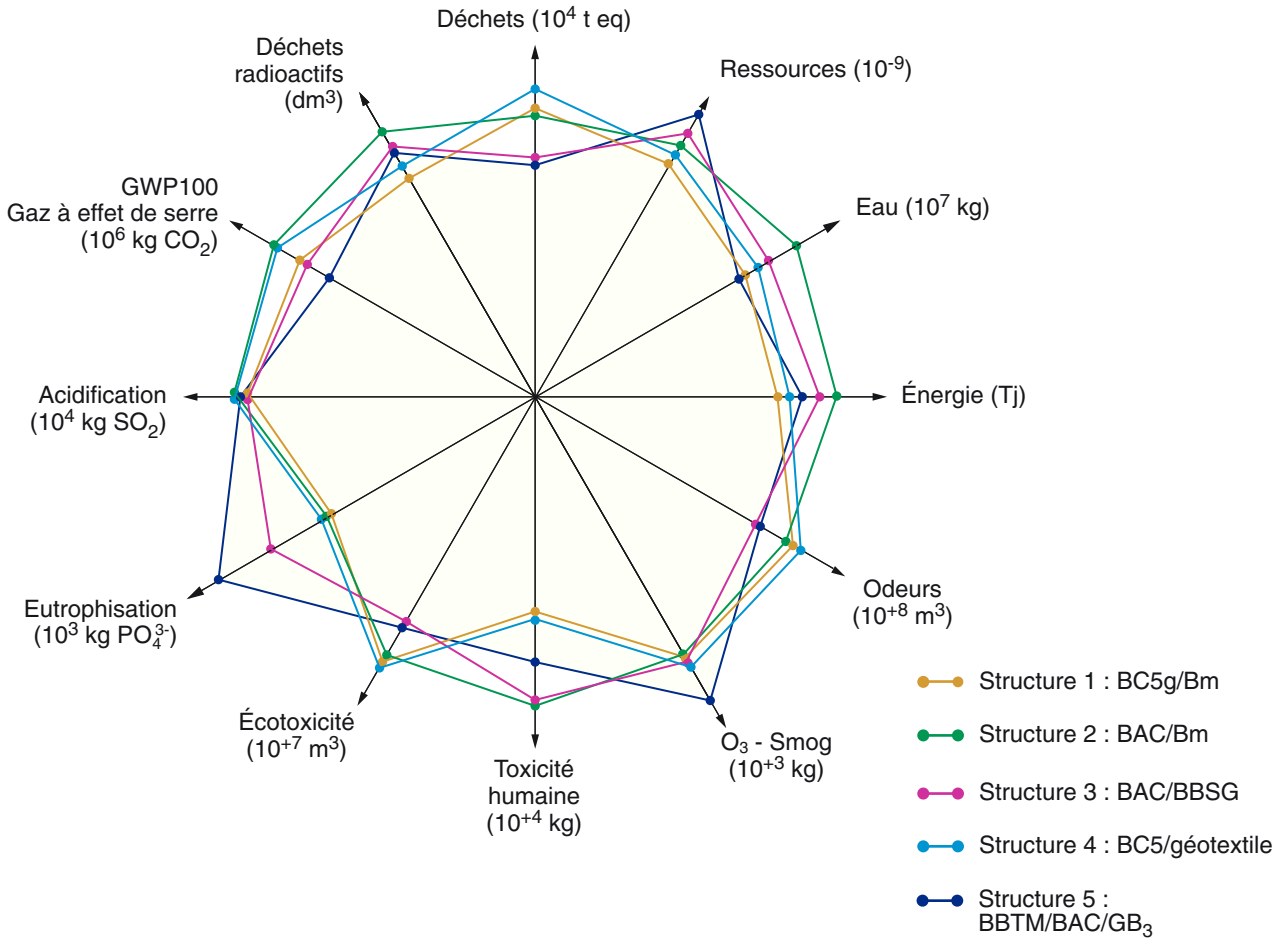


Figure 2 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des quatre structures routières en béton et de la structure composite – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

CONCLUSIONS N°3 et 4

→ OEKOINVENTARE OU EUROBITUME : LES STRUCTURES EN BÉTON SONT GLOBALEMENT PLUS FAVORABLES

Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Oekoinventare) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Oekoinventare) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4, pour les indicateurs Déchets solides, Gaz à effet de serre, Eutrophisation et Toxicité humaine. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie, Eau, Ressources, Déchets radioactifs, Acidification, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

Comparaison des structures béton et de la structure bitumineuse (source Eurobitume) sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie

La structure bitumineuse (Eurobitume) est plus favorable, que les structures béton 1 à 4 et la structure composite, pour les indicateurs Déchets, Gaz à effet de serre et Toxicité humaine. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Eau, Ressources, Acidification, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs (voir la figure 3).

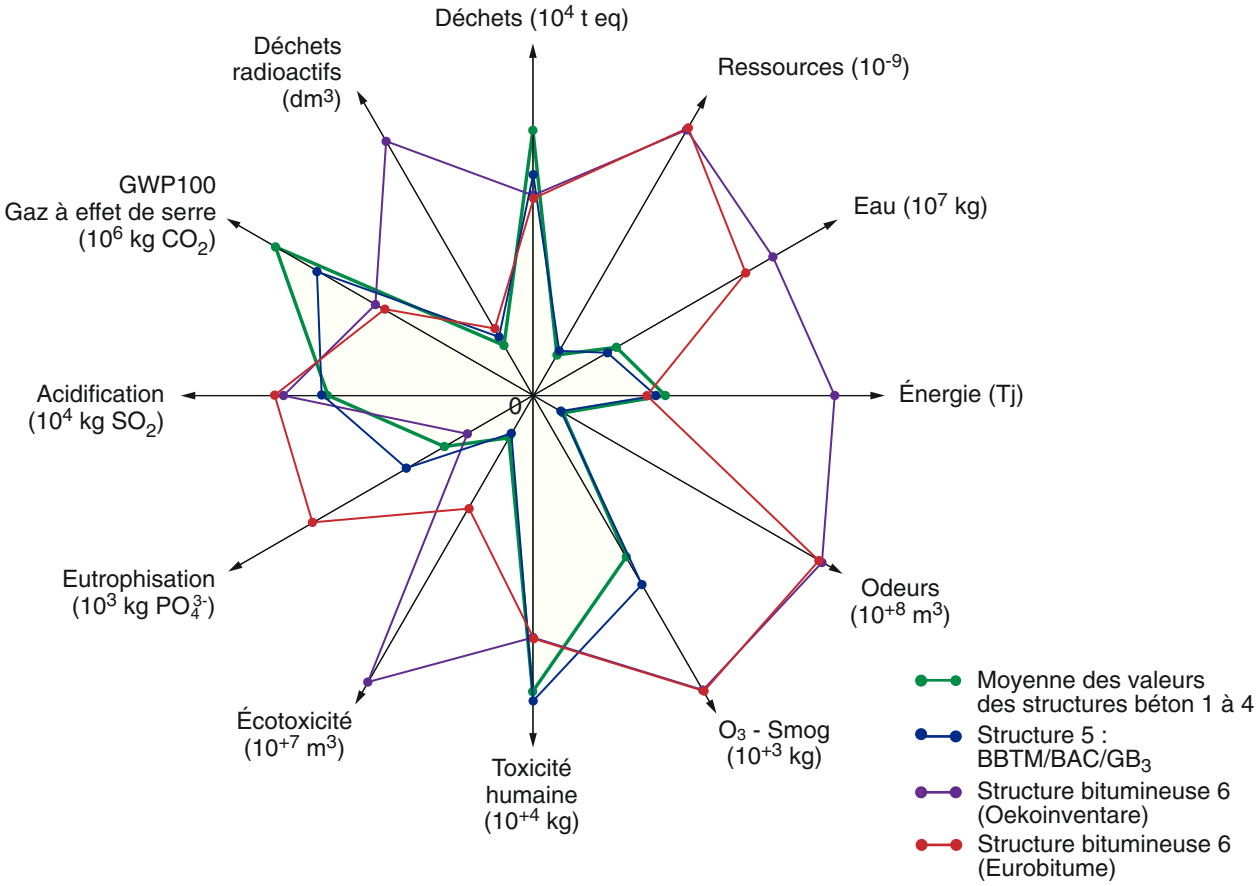

Déchets (10^4 t eq)
Déchets radioactifs (dm^3)
Ressources (10^{-9})
GWP100 Gaz à effet de serre (10^6 kg CO_2)
Eau (10^7 kg)
Acidification (10^4 kg SO_2)
0
Énergie (Tj)
Eutrophisation (10^3 kg PO_4^{3-})
Odeurs (10^{+8} m^3)
Écotoxicité (10^{+7} m^3)
Toxicité humaine (10^{+4} kg)
O_3 - Smog (10^{+3} kg)
Moyenne des valeurs des structures béton 1 à 4
Structure 5 : BBTM/BAC/GB_3
Structure bitumineuse 6 (Oekoinventare)
Structure bitumineuse 6 (Eurobitume)

Figure 3 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux des structures en béton et de la structure bitumineuse – phase de construction, d'entretien et de fin de vie.

CONCLUSION N°5

→ LES REVÊTEMENTS EN BÉTON, SOURCE D'ÉCONOMIE DURANT LA PHASE D'UTILISATION

Comparaison des structures sur le cycle de vie complet

Les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants par rapport aux impacts liés à la construction, l'entretien et fin de vie de la chaussée (voir la figure 4). De ce fait, toute économie durant la phase d'utilisation prend toute sa signification. La prise en compte de l'influence du revêtement routier sur la consommation des véhicules se trouve donc pleinement justifiée dans cette analyse.

> Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie) et les variantes béton sont mieux placées sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.

> Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton. La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage. Dans ce dernier cas tous les indicateurs environnementaux, à l'exception de l'indicateur Déchets, deviennent favorables aux structures béton (voir la figure 4).

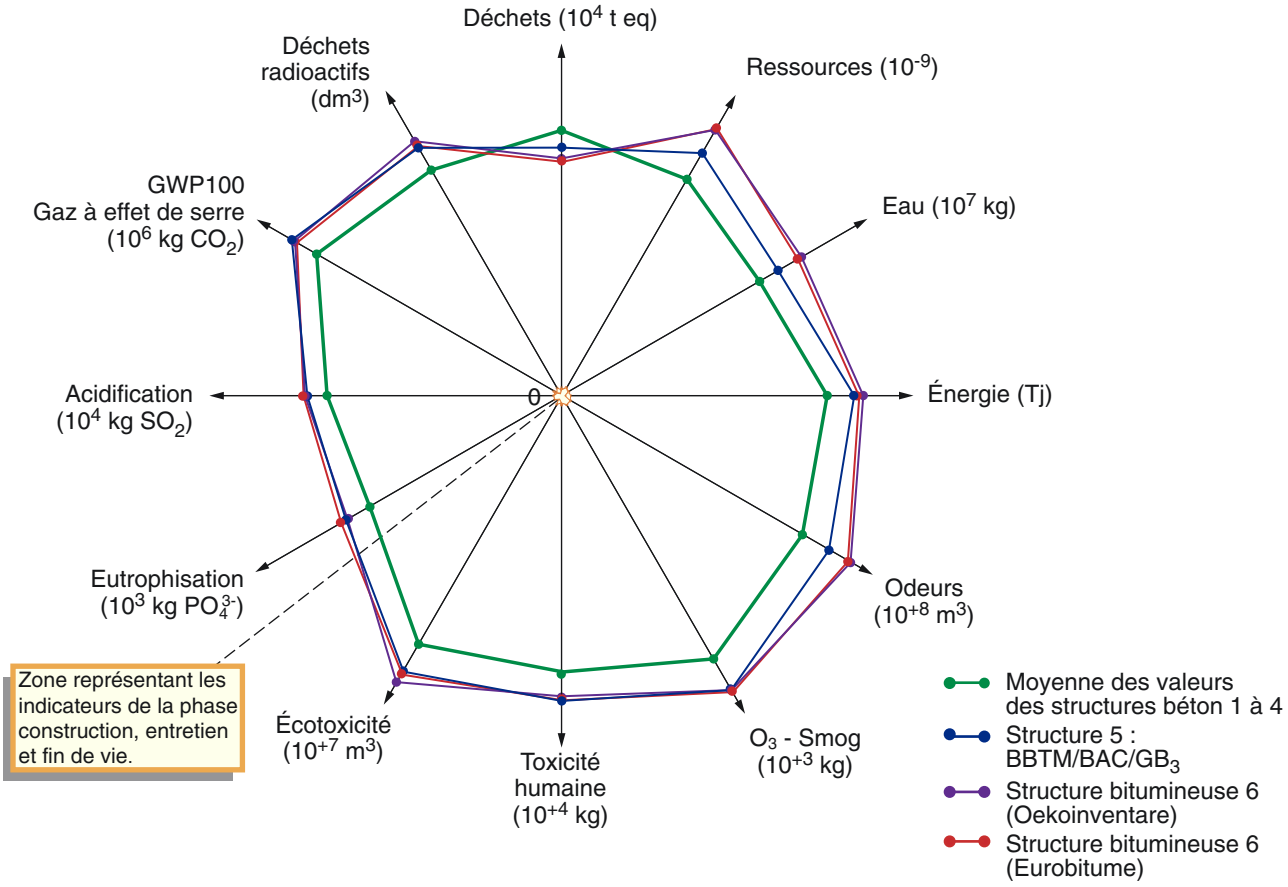

Déchets (10^4 t eq)
Déchets radioactifs (dm^3)
Ressources (10^{-9})
GWP100 Gaz à effet de serre (10^6 kg CO_2)
Eau (10^7 kg)
Acidification (10^4 kg SO_2)
0
Énergie (Tj)
Eutrophisation (10^3 kg PO_4^{3-})
Odeurs (10^{+8} m^3)
Zone représentant les indicateurs de la phase construction, entretien et fin de vie.
Écotoxicité (10^{+7} m^3)
Toxicité humaine (10^{+4} kg)
O_3 - Smog (10^{+3} kg)
Moyenne des valeurs des structures béton 1 à 4
Structure 5 : BBTM/BAC/GB_3
Structure bitumineuse 6 (Oekoinventare)
Structure bitumineuse 6 (Eurobitume)

Figure 4 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de différentes structures routières – cycle de vie complet.

→ ACV d'un mètre de dispositif de sécurité

sur la phase de construction, d'entretien et de fin de vie

CONCLUSION N°6

→ LES SÉPARATEURS EN BÉTON : TOUS LES AVANTAGES EN MATIÈRE D'ACV

Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente, pour tous les indicateurs environnementaux, un avantage sur la glissière métal, sauf pour l'indicateur Déchets (voir la figure 5).

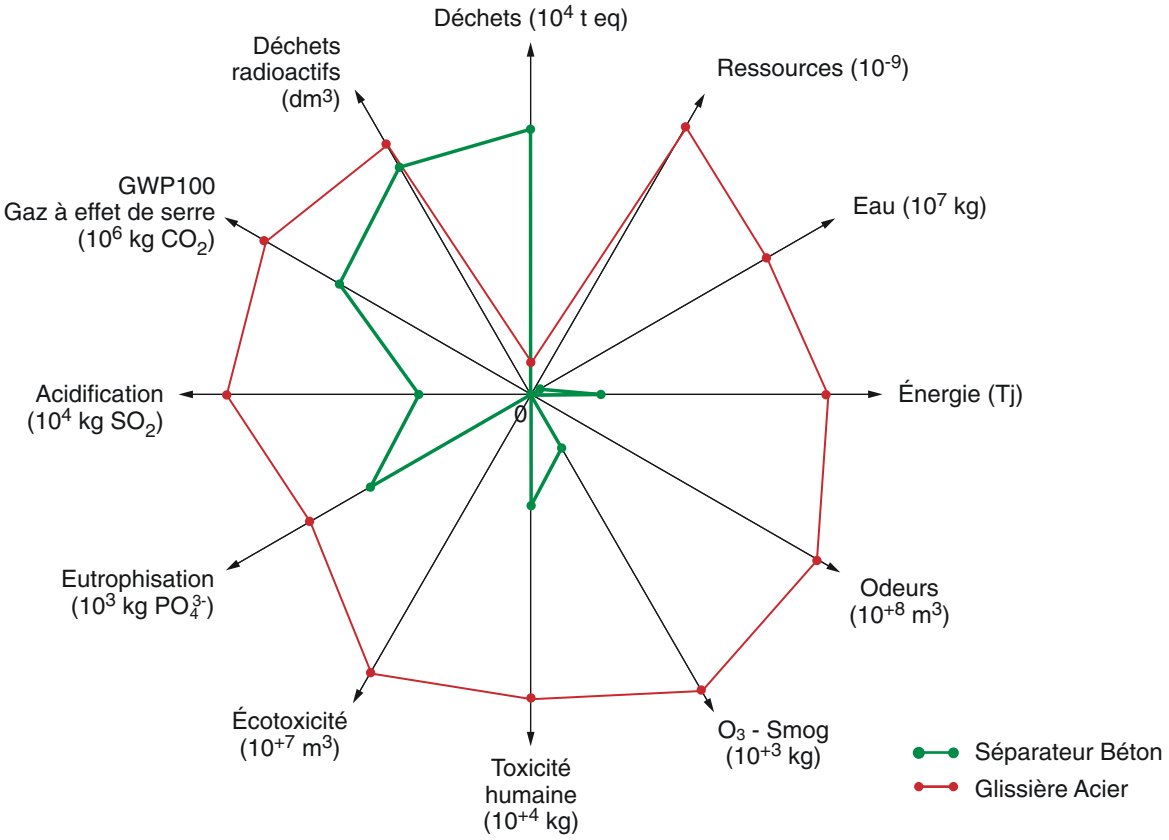


Figure 8 : diagramme synthétique de comparaison des impacts environnementaux de deux dispositifs de sécurité – phase de construction, d'entretien et fin de vie.

→ Ce qu'il faut retenir...

Un bilan par analyse de cycle de vie a été effectué sur une portion de route d'un km de longueur, représentative d'une route à grande circulation en France. La méthodologie employée consiste à quantifier les matériaux et composants, puis les substances puisées et émises dans l'environnement, en considérant des inventaires issus d'une base de données suisse (Oekoinventare, École polytechnique fédérale de Zürich), et enfin des indicateurs environnementaux parmi ceux les plus couramment employés en analyse de cycle de vie.

> Pour tous les indicateurs, excepté l'indicateur Déchets, la contribution de la phase de construction est faible par rapport à l'utilisation de la route (circulation des camions et des voitures). Tous les efforts à consentir pour réduire les impacts doivent être portés sur la phase d'utilisation de la route, la phase de construction n'ayant qu'un impact minime, de l'ordre de 1 à 7 %.

> Sur les phases de construction, d'entretien et de fin de vie, la structure bitumineuse génère légèrement moins de déchets solides et d'émission de gaz à effet de serre que les structures béton. En revanche, les structures béton sont plus favorables sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs. En outre, si l'on restreint la comparaison aux quatre structures béton, la structure 1 « dalle goujonnée » présente le meilleur bilan en matière d'analyse de cycle de vie.

> Sur le cycle de vie complet, incluant la phase d'utilisation, les impacts liés à la circulation des véhicules sont très importants et les hypothèses en matière de consommation de carburant pour les véhicules peuvent influencer les résultats.

- Si une consommation égale est considérée pour les véhicules quel que soit le revêtement, les solutions bitumineuses sont un peu plus favorables par rapport aux Déchets solides inertes (la quantité de matériau utilisée est moindre et le recyclage est possible en fin de vie), les Gaz à effet de serre et les variantes béton sont mieux placés sur les indicateurs Énergie primaire, consommation d'Eau, épuisement des Ressources, Eutrophisation, Écotoxicité, Smog et Odeurs.
- Si une réduction de 10 % de la consommation des véhicules est considérée pour les revêtements béton, sur les 10 premières années, et de 5 %, les années suivantes, les impacts sont réduits pour les variantes béton. La réduction est encore plus élevée si la réduction de 10 % est appliquée sur les 30 ans de durée de vie de l'ouvrage.

La prise en compte d'une réduction de la consommation des véhicules quand ils roulent sur un revêtement en béton se traduit par une réduction très importante des impacts environnementaux compensant ainsi largement les impacts engendrés lors de la phase de construction, entretien et fin de vie. Pour l'ensemble des indicateurs présentés dans ce document, une hypothèse de réduction de la consommation des véhicules circulant sur une chaussée en béton d'environ 3 % aurait suffit à compenser les impacts générés durant la phase construction, entretien et fin de vie. Compte tenu de cet avantage, il serait judicieux qu'une campagne d'essais soit réalisée en France pour confirmer les conclusions des études internationales.

> Dans le domaine des dispositifs de sécurité, le séparateur béton présente, pour tous les indicateurs environnementaux, un avantage sur la glissière métal.

→ Bibliographie

1. Projet européen EASE (Education of architects on solar energy and environment), rapport final du projet ALTENER n° 4.1 030/Z/98-340, Commission européenne, DG TREN, août 2000.

2. Club Bâtiville, Construire : quelques enjeux de demain, Cahiers du CSTB n° 3179, décembre 1999.

3. AFNOR, norme X30-300 « Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principe et cadre », mars 1994, 19 p.

4. Bernd Polster, Contribution à l'étude de l'impact environnemental des bâtiments par analyse du cycle de vie, thèse de doctorat, École des Mines de Paris, 1995, 268 p.

5. Bruno Peuportier et Isabelle Blanc-Sommereux, Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings, International Journal of Solar Energy, 1990 vol. 8 pp 109-120.

6. Bo-Christer Björk et Jeff Wix, An introduction to STEP, VTT (Technical research centre of Finland) and Wix McLelland Ltd, 1991, 47 p.

7. Patrice Poyet et Jean-Luc Monceyron, Les classes d'objets IFCs, finalités et mode d'emploi, Les Cahiers du CSTB, n° 2986, octobre 1997, Paris, 19 p.

8. Bruno Peuportier, Bernd Polster and Isabelle Blanc Sommereux, Development of an object oriented model for the assessment of the environmental quality of buildings, First International Conference Buildings and the environment, CIB, Watford, may 1994, 8 p.

9. R. Frischknecht et al., Ökoinventare für Energie systeme, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, 1995, 1 817 p.

10. EPFL-LESO/IFIB (Université de Karlsruhe), Energie und Soffffluß-bilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer, Ifib – Karslruhe, juin 1994, 221 p.

11. R. Heijungs, Environmental life cycle assessment of products, Centre of environmental science (CML), Leiden, 1992, 96 p.

12. S. Ahbe, A. Braunschweig et R. Müller-Wenk, Methodik für Oekobilanzen auf der Basis Ökologischer Optimierung, BUWAL, Bern, 1990.

13. Mark Goedkoop, Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale, NOVEM, Utrecht, 1995.

14. Scientific assessment working group of IPCC, Radiative forcing of climate change, World meteorological organization and United nations environment programme, 1994, 28 p.

15. RIALHE A. et NIBEL S., Quatre outils français d'analyse de la qualité environnementale des bâtiments, Ed. Plan Urbanisme Construction et Architecture, 1999.

16. Bruno Peuportier, Niklaus Kohler and Chiel Boonstra, European project REGENER, life cycle analysis of buildings, 2nd International Conference « Buildings and the environment », Paris, june 1997, pp 33-40.

17. Amory et Hunter Lovins, Ernst Von Weizacker, Facteur 4, Ed. Terre Vivante, 1997.

18. Étude américaine : Vehicle operating costs, fuel consumption, and pavement type and condition factors, Final Report, Texas Research and Development Foundation, Austin, TX Jun 82.

19. Étude canadienne : Effect of pavement structure on truck fuel consumption – phase 1 and 2, Conseil national de recherches Canada, Rapport technique controlé CSTT-HWv-CTR-041, août 2000. Project team : Gordon Taylor, P. Eng., M. Eng. - Philip Marsh, P. Eng. - Eric Oxelgren.

20. Étude indienne : Fuel savings on cement concrete pavement, by DR. L.R. Kadiyali & Associates in collaboration with Central Road Research Institute, 2000.

21. Étude suédoise : Benefit of reduced fuel consumption from economic and environmental perspectives. A novel approach, Robert Larsson et Ronny Andersson. Exposé au Symposium Cembureau à Istanbul, avril 2004.

CIMbéton

CENTRE D'INFORMATION SUR LE CIMENT ET SES APPLICATIONS

7, place de la Défense • 92974 Paris-la-Défense Cedex • Tél. : 01 55 23 01 00 • Fax : 01 55 23 01 10
E-mail : centrinfo@cimbeton.net • internet : www.infociments.fr

Conception et réalisation Amprincipe, Paris. Imprimé par Gibert Clarey à Tours – décembre 2005.